

УДК 669.3: 669—17

М. А. Зорина^{*}, Е. Д. Путинцева

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

^{*}*m. a.zorina@urfu.ru*

Научный руководитель — доц., канд. техн. наук А. Ю. Жиликов

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКСТУРЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ СУПЕРСПЛАВА СИСТЕМЫ Ni—Cr—Mo

Методом ориентационной микроскопии (EBSD) исследовано текстурное состояние сплава на основе никеля (Ni—Cr—Mo) после деформации и отжига. В ходе рекристаллизации формируется текстура, основные компоненты которой связаны с ориентировками деформации через специальные разориентации, близкие к $\Sigma 25b$ и $\Sigma 41c$. Данные разориентации обладают повышенной подвижностью, как стремящиеся к структурному состоянию, обладающему минимальной энергией, — границе $\Sigma 3$.

Ключевые слова: ГЦК-металл, текстура, холодная прокатка, рекристаллизация, специальные разориентации, PCY-границы

M. A. Zorina, E. D. Putintseva

FEATURES OF FORMATION RECRYSTALLIZATION TEXTURE OF SUPER ALLOYS Ni—Cr—Mo SYSTEM

The textural state of the nickel-based alloy (Ni—Cr—Mo) after cold rolling and annealing was studied by orientation microscopy (EBSD). Texture, the main components of which are associated with orientations of deformation through special misorientation close to $\Sigma 25b$ and $\Sigma 41c$, formed during recrystallization. These misorientations have increased mobility, as tend to the structural state with a minimum energy — the boundary $\Sigma 3$.

Key words: FCC-metal, texture, cold rolling, recrystallization, special misorientation, CSL boundaries

Сплавы на основе Ni—Cr—Mo получили широкое применение в химической и атомной промышленности. Они повсеместно используются в условиях, требующих сочетания высокой конструк-

тивной прочности и коррозионной стойкости. Текстурное состояние дополнительно определяет комплекс ориентационно-зависимых физико-механических свойств изделий из этих сплавов. Движение межзеренных границ играет основную роль в ходе процессов структурных превращений при отжиге холоднокатаных металлов. Особый интерес представляют исследования в области установления кристаллографических аспектов «происхождения» зародышей при рекристаллизации, а также взаимосвязи ориентировок деформации с ориентировками первичной рекристаллизации (ПР), в том числе через специальные разориентации [1–3].

Материалом для исследования служил коррозионностойкий суперсплав системы Ni–Cr–Mo. Исходный материал имел рекристаллизованное состояние перед деформацией. В лабораторных условиях был смоделирован процесс плоской холодной прокатки листа. Степень деформации составила $\sim 0,7$. Рекристаллизационный отжиг проводился при температурах 650, 800, 900 °С.

Текстура деформации. Интегральная текстура деформации представляет собой набор ориентировок, включающий сильную компоненту $\{110\}\langle 112 \rangle$ и более слабые компоненты $\{110\}\langle 001 \rangle$, $\{110\}\langle 111 \rangle$ (рис. 1, а).

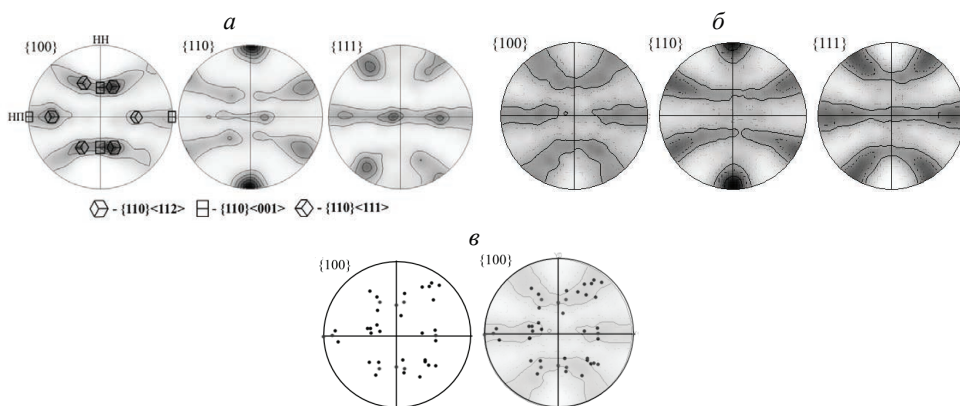


Рис. 1. Текстура сплава после деформации и отжига в виде ППФ:

- а — после деформации, с расшифровкой основных текстурных компонент;
 б — после отжига при 900 °С; в — расчетная, полученная поворотом основных деформационных ориентировок вокруг оси $\langle 331 \rangle$ на угол 52°, наложенная на экспериментальные ППФ с образцов после отжига при 900 °С

Текстура рекристаллизации. Текстуальный анализ показал, что новые зерна, формирующиеся на стадии ПР, имеют ориентации, близкие к ориентациям деформированных зерен (рис. 2). Как отмечалось в [4; 5], зародыши ПР, находящиеся с деформированным зерном в разориентации, близкой к РСУ $\Sigma 25b$ (угол поворота $51,68^\circ$, ось поворота $\langle 331 \rangle$), имеют большую склонность к росту. Также в работе отмечается наличие растущих зерен со специальной разориентацией, близкой к $\Sigma 41$ с (угол поворота $55,88^\circ$, ось поворота $\langle 110 \rangle$). На рис. 2 приведены случаи роста рекристаллизованных зерен в деформированную матрицу с данными типами специальных разориентаций. Возникновение этих разориентаций вполне вероятно между кристаллитами деформированных зерен, ориентировки которых находятся в пределах рассеяния основных текстурных компонент деформации. Данные разориентации наблюдаются как между деформированными зернами, так и между растущими рекристаллизованными и деформированными зернами.

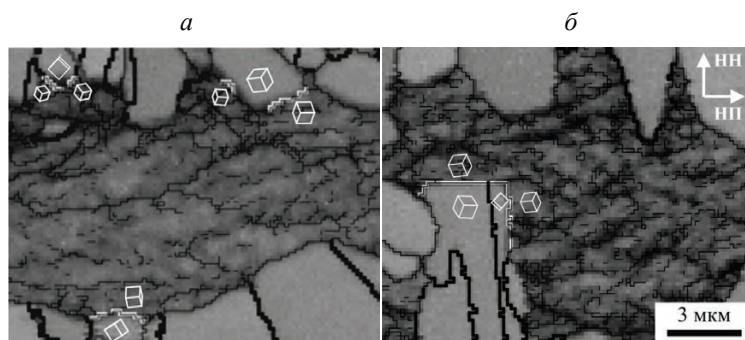


Рис. 2. Текстура областей сплава в виде ориентационных карт (EBSD) после холодной прокатки и отжига при 800°C с указанием ориентаций отдельных элементов структуры в виде элементарных кристаллических ячеек с обозначением специальных разориентаций (толстые черные — $\Sigma 3$, толстые светлые — $\Sigma 25b/\Sigma 41c$):

a — $\Sigma 25b$; b — $\Sigma 41c$

Большинство растущих зерен имеет ориентировки, находящиеся на краях областей рассеяния деформационных ориентаций. При этом часто новое зерно имеет разориентацию, близкую к двойниковой, с областью деформированной матрицы, в которую растет. Специальные разориентации, близкие к $\Sigma 25b$ и $\Sigma 41$ с, вероятно, обладают повы-

шенной подвижностью как стремящиеся к ближайшему к ним структурному состоянию, обладающему минимальной энергией — границе РСУ $\Sigma 3$. В итоге интегральная текстура рекристаллизации сплава близка к текстуре его деформации (рис. 1, б, в). Расчетная ППФ для рекристаллизованного состояния сплава показывает хорошее совпадение с экспериментально полученными ППФ (рис. 1, в).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 18–79–00126).

Литература

1. The crystallographic relationship of molybdenum textures after hot rolling and recrystallization / M. L. Lobanov [et al.] // Mater. Des. 2016. Vol. 109. P. 251–255.
2. Interrelation Between the Orientations of Deformation and Recrystallization in Hot Rolling of Anisotropic Electrical Steel / M. L. Lobanov [et al.] // Met. Sci. Heat Treat. 2015. Vol. 57, № 7–8. P. 492–497.
3. Secondary recrystallization in Fe-3 % Si alloy with (110) [001] single-component texture / A. A. Redikul'tsev [et al.] // Phys. Met. Metallogr. 2013. Vol. 114, No. 1. P. 33–40.
4. Primary recrystallization texture in FCC–Metal with low packing defect energy / M. A. Zorina, M. L. Lobanov, E. A. Makarova, G. M. Rusakov // Metal Science and Heat Treatment. 2018. V. 60. Nos. 5–6. P. 329–336
5. Взаимосвязь текстур деформации и рекристаллизации в технически чистом алюминии / М. А. Зорина [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallургия. 2017. Т. 17, No. 3. С. 73–81.